

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Yasushi SUGAYA, et al.

Application No.: To be assigned

Group Art Unit: To be assigned

Filed: July 21, 2003

Examiner: To be assigned

For: RAMAN AMPLIFIER

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2002-216947

Filed: July 25, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: July 21, 2003

By: 

J. Randall Beckers
Registration No. 30,358

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-216947

[ST.10/C]:

[JP2002-216947]

出 願 人

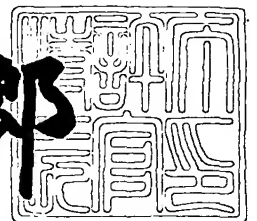
Applicant(s):

富士通株式会社

2003年 1月24日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3001431

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251037

【提出日】 平成14年 7月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35

【発明の名称】 ラマン光増幅器

【請求項の数】 5

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 菅谷 靖

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 室 真一郎

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 林 悦子

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100074099

 【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大菅 義之

 【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7 - 2 5 - 2 8 - 5 0 3

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン光増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、
上記波長多重光が入力される光増幅媒体、
上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、
上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、
上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に
導く光デバイス、
上記波長多重光の入力パワーに基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助
光制御手段、
を有するラマン光増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のラマン光増幅器であって、
上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーが第 1 の入力レベルから
第 2 の入力レベルに変化したときに、上記補助光を、上記第 1 の入力レベルに対
応する第 1 の定常状態から上記第 2 の入力レベルに対応する第 2 の定常状態へ上
記光増幅媒体の波長多重光あるいは励起光の伝搬時間に基づいて決まる応答時間
で変化させる。

【請求項 3】 波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、
上記波長多重光が入力される光増幅媒体、
上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、
上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、
上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に
導く光デバイス、
上記波長多重光に含まれている複数の信号光の波長配置を検出する検出手段、
上記検出手段により検出された信号光の波長配置の変化に基づいて上記補助光
の光パワーを制御する補助光制御手段、
を有するラマン光増幅器。

【請求項 4】 波長多重光の中の信号光の状態を表す状態情報が伝送路上の

増幅ノードに通知される光伝送システムにおいて上記波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、

上記波長多重光が入力される光増幅媒体、

上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、

上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、

上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に導く光デバイス、

上記状態情報に基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段、

を有するラマン光増幅器。

【請求項 5】 波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、

上記波長多重光が入力される光増幅媒体、

上記光増幅媒体に前方励起光を供給する前方励起光源、

上記光増幅媒体に後方励起光を供給する後方励起光源、

上記波長多重光の入力パワーに基づいて上記前方励起光の光パワーを制御する制御手段、

を有するラマン光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ラマン光増幅器に係わり、特に、フィードフォワード制御型のラマン光増幅器に係わる。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、幹線系の光伝送システムにおいては、波長多重（WDM：Wavelength Division Multiplex）伝送技術を利用した大容量伝送システムが普及してきている。そして、WDM伝送システムの大容量化を支えるキーデバイスの一つがラマン光増幅器である。

【 0 0 0 3 】

図 1 4 は、一般的なラマン光増幅器の基本構成図である。ここでは、信号光の

伝送方向とは逆方向に伝搬されるように励起光が供給される後方励起型のラマン光増幅器を示す。

【 0 0 0 4 】

ラマン増幅用ファイバ1は、励起光源2により生成される励起光を利用して入力光を増幅する。なお、この入力光は、互いに異なる波長が割り当てられた複数の信号光が多重化された波長多重光である。励起光源（LD）2は、たとえばレーザダイオードであって、信号光の波長よりも短い波長を持った励起光を生成する。WDMカプラ3は、信号光と励起光とを合波する光デバイスであって、励起光源2により生成された励起光をラマン増幅用ファイバ1に導く。そして、入力ポートから入力された信号光は、ラマン増幅用ファイバ1において増幅され、WDMカプラ3を介して出力ポートに導かれる。

【 0 0 0 5 】

ところで、ラマン光増幅器の動作領域は、利得の非飽和領域が主であるのに対し、一般に、今日の光伝送システムにおいて最も普及しているエルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）の動作領域は、非飽和領域および飽和領域にまたがっている。ここで、利得非飽和領域においては、励起光パワーが一定であれば、信号光の入力レベルが変化しても利得は常に一定である。一方、利得飽和領域においては、励起光パワーが一定であったとしても、信号光の入力レベルが変化すると、それに伴って利得も変化してしまう。ところが、近年、光通信システムの高帯域化および高出力化により、動作領域（信号光の入力レベルの変動範囲）をさらに拡張することが望まれており、ラマン光増幅器において利得飽和領域が利用されるような設計が行われてきている。

【 0 0 0 6 】

また、複数の信号光が入力された場合であって、ラマン増幅用ファイバ1の中でそれらの信号光の総パワーが十分に大きくなると、あるいは広帯域になると、信号光間ラマン増幅（信号光間ラマン散乱）に起因したパワー偏差（チルト）が生じることがある。なお、信号光間ラマン増幅とは、波長の長い信号光が波長の短い信号光によって増幅される現象をいう。この場合、波長の短い信号光は、波長の長い信号光に対する励起光として作用する。また、パワー偏差とは、各信号

光の出力レベルが波長に対してフラットにならないことをいう。

【 0 0 0 7 】

このため、ラマン光増幅器が利得飽和領域で使用された場合、或いは入力信号光パワーが大きい場合は、励起光パワーが一定であるものとする、波長多重数の増加／減少によって波長多重光の入力パワーが変動すると、信号光の出力パワーが変化することになる。したがって、運用中に波長数（チャンネル数）が増加／減少することを前提とする伝送システムにおいては、このような利得変動を設計マージンとして見積もるか、或いはその利得変動を抑圧するための措置をとらないかぎり、波長数の増加／減少時に伝送品質（S／Nなど）が一時的に劣化するおそれがある。

【 0 0 0 8 】

なお、ラマン増幅用ファイバ1に供給される励起光の伝搬方向は、信号光の偏光依存利得、励起光雑音の信号への転写、励起光を介した信号間の相互利得変調などによる伝送特性の劣化を回避するために、後方励起が主流になっている。しかし、後方励起による増幅動作では、前方励起の場合と異なり、ラマン増幅用ファイバ1のファイバ長に依存する過渡応答特性が生じる。

【 0 0 0 9 】

図15は、ラマン光増幅器の出力応答波形を示す図である。ここでは、互いに波長の異なる複数の信号チャンネルが多重化された波長多重光の中の所定のチャンネルを増設（追加）／減設（削除あるいは停止）したときの、他のチャンネルの出力パワーを示す。なお、増設／減設されるチャンネルのことを「ON／OFFチャンネル」と呼び、他のチャンネルのことを「残留チャンネル」と呼ぶものとする。また、励起光パワーは、一定であるものとする。さらに、このラマン光増幅器は、利得飽和領域で使用されているものとする。

【 0 0 1 0 】

ラマン光増幅器が利得飽和領域で使用されているときは、ON／OFFチャンネルが減設されると、飽和レベルが浅くなり、利得が高くなるので、残留チャンネルの出力パワーが上昇することになる。図15では、時刻 $T = 50 \sim 150 \mu$ 秒の期間に、ON／OFFチャンネルが減設されている。

【 0 0 1 1 】

ただし、後方励起の場合は、図 1 5 (a) に示すように、ON / OFF チャンネルの増設 / 減設に起因して発生する残留チャンネルの出力パワーの変化は、所定の応答時間を必要とする。そして、この応答時間は、ラマン増幅用ファイバ 1 のファイバ長に依存し、信号光や励起光のファイバ伝搬時間の 2 倍程度の時間である。一方、前方励起の場合は、図 1 5 (b) に示すように、残留チャンネルの出力パワーは、極めて短時間のうちに変化する。

【 0 0 1 2 】

図 1 6 は、信号光間ラマン増幅が生じているときのラマン光増幅器の出力応答波形を示す図である。ここでは、ON / OFF チャンネルが増設されたときの、残留チャンネルの出力パワーの変化を示す。なお、励起光パワーは一定であるものとする。

【 0 0 1 3 】

この場合、ON / OFF チャンネルが増設されると、残留チャンネルの出力パワーは、瞬間的に不連続的に変化する。そして、このとき、増設される ON / OFF チャンネルの波長により、残留チャンネルの出力パワーの波形が異なる。例えば、ON / OFF チャンネルの波長が残留チャンネルの波長よりも短い場合は、図 1 6 (a) に示すように、そのような ON / OFF チャンネルが増設されると、残留チャンネルの出力パワーは一時的に急上昇し、その後、所定の応答時間で変化していく。一方、ON / OFF チャンネルの波長が残留チャンネルの波長よりも長い場合は、図 1 6 (b) に示すように、そのような ON / OFF チャンネルが増設されると、残留チャンネルの出力パワーは一時的に急降下し、その後、所定の応答時間で変化していく。なお、ON / OFF チャンネルが減設された場合も、残留チャンネルの出力パワーは瞬間的に不連続的に変化する。

【 0 0 1 4 】

このように、運用中にチャンネル数が増加 / 減少することを前提とする WDM 伝送システムでは、チャンネルが増設 / 減設されるごとに残留チャンネルの光レベルが変動してしまう。さらに、増設 / 減設されるチャンネルの波長が異なれば、その波長に応じて残留チャンネルの光パワーの変化のしかたも異なってくる。このため、こ

のような伝送システムでは、信号光の伝送特性を管理することが容易ではなかった。

【 0 0 1 5 】

上記問題を解決する方法として、励起光を動的に制御することにより、ラマン光増幅器の利得を一定に維持する方法が知られている。

図 1 7 は、励起光を動的に制御する機能を備えたラマン光増幅器の構成図である。ここで、ラマン増幅用ファイバ 1、励起光源 2、WDM カプラ 3 は、図 1 4 を参照しながら説明した通りである。

【 0 0 1 6 】

光分岐カプラ 4 は、ラマン増幅用ファイバ 1 において増幅された信号光の一部を分岐して受光デバイス (PD) 5 に導く。受光デバイス 5 は、例えばフォトダイオードであって、光分岐カプラ 4 により分岐された信号光の光パワーを表す電気信号を生成する。制御回路 6 は、受光デバイス 5 の出力に基づいて、ラマン増幅用ファイバ 1 において増幅された信号光の光パワーをモニタする。そして、制御回路 6 は、その信号光の出力パワーが一定の値に保持されるように、励起光源 2 の発光パワーを制御する。

【 0 0 1 7 】

このように、図 1 7 に示すラマン光増幅器においては、出力光パワーを表す情報をフィードバック信号としてフィードバック制御を行うことにより、信号光の出力パワーを一定のレベルに保持している。しかし、フィードバック系の高速化には限界がある。このため、図 1 7 に示すラマン光増幅器においても、以下の問題が生じてしまう。

【 0 0 1 8 】

1. 信号光間ラマン増幅が発生している状況下で ON/OFF チャネルが増設/減設されると、図 1 6 に示したように、残留チャネルの出力パワーが即座に変動するので、フィードバック系による制御が間に合わない。このため、フィードバック制御で信号光間ラマン増幅による残留チャネルのレベル変動を抑えることは実質的に不可能である。

【 0 0 1 9 】

2. 後方励起のラマン光増幅器の出力応答特性は、図 1 5 を参照しながら説明したように、ラマン増幅用ファイバのファイバ長に依存する。このため、ラマン増幅用ファイバを交換することを考慮し、フィードバック系の設計（利得、応答時間など）に柔軟性を持たせようとする、時定数の設定誤差により、そのフィードバック系の高速化が制御を攪乱する要因（発振など）となる。

【0 0 2 0】

3. 互いに波長の異なる複数の励起光を供給する場合には、それら複数の励起光のパワーバランスを考慮しながら高速フィードバック制御を行うために、複雑な制御アルゴリズムが必要になる。

【0 0 2 1】

4. ラマン実効長はかなり長くなるので、増幅応答時間はファイバ伝搬時間に律速される。特に、前方励起の場合は、伝搬時間分だけ制御遅延が生じることになる。

【0 0 2 2】

【発明が解決しようとする課題】

このように、従来のラマン光増幅器においては、波長多重光を増幅する際に、その波長多重光の波長数が変化したときに、その波長多重光に含まれる各信号光の光レベルの変動を抑えることは困難であった。特に、ラマン光増幅器がその利得飽和領域で使用される場合、あるいは信号光間ラマン増幅が生じている場合には、極めて困難であった。

【0 0 2 3】

本発明の目的は、増幅すべき波長多重光の波長数が変化したときであっても、その波長多重光に含まれる各信号光の光レベルの変動を抑えることができるラマン光増幅器を実現することである。

【0 0 2 4】

【課題を解決するための手段】

本発明のラマン光増幅器は、波長多重光が入力される光増幅媒体、上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬され

るように上記光増幅媒体に導く光デバイス、上記波長多重光の入力パワーに基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段、を有する。

【 0 0 2 5 】

波長多重光の入力パワーが変化すると、当該ラマン光増幅器の使用状態によっては、上記光増幅媒体の利得が変化し、それに伴って出力パワーが変化する。したがって、本発明のラマン光増幅器では、上記光増幅媒体に補助光を供給する補助光源を設け、波長多重光の入力パワーに基づいてその補助光の光パワーを制御することにより、波長多重光の入力パワーが変化した場合であっても、上記光増幅媒体の利得が変化しないようにしている。このため、本発明のラマン光増幅器では、波長多重光の入力パワーが変化した場合であっても、出力パワーの変動が抑えられる。

【 0 0 2 6 】

特に、後方励起の場合は、波長多重光の入力パワーが変化した後、出力パワーは、上記光増幅媒体の信号伝播時間に対応する所定の応答時間で変化していく。したがって、上記光増幅媒体の信号伝播時間に対応する所定の応答時間で変化するように補助光の光パワーを制御すれば、出力光パワーの変動は適切に抑圧される。この場合、補助光制御手段は、例えば、上記波長多重光の入力パワーが第1の入力レベルから第2の入力レベルに変化したときに、上記補助光を、上記第1の入力レベルに対応する第1の定常状態から上記第2の入力レベルに対応する第2の定常状態へ上記光増幅媒体の波長多重光あるいは励起光の伝搬時間に基づいて決まる応答時間で変化させるようにしてもよい。

【 0 0 2 7 】

本発明の他の態様のラマン光増幅器は、上述の光増幅媒体、励起光源、補助光源、光デバイスに加えて、上記波長多重光に含まれている複数の信号光の波長配置を検出する検出手段、および上記検出手段により検出された信号光の波長配置の変化に基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段を備える。この構成によれば、追加または削除された信号の波長に応じて補助光の光パワーを制御できるので、出力パワーの変動をさらに抑えることができる。

【 0 0 2 8 】

本発明のさらに他の態様のラマン光増幅器は、波長多重光の中の信号光の状態を表す状態情報が伝送路上の増幅ノードに通知される光伝送システムにおいて使用されることを前提とし、上述の光増幅媒体、励起光源、補助光源、光デバイスに加えて、上記状態情報に基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段を備える。この構成によれば、波長多重光に含まれている複数の信号光の波長配置を検出する検出手段を備えていなくても、追加または削除された信号の波長に応じて補助光の光パワーを制御できる。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

図 1 は、本発明の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。ここで、ラマン光増幅器は、よく知られているように、供給される励起光の周波数から所定の周波数だけシフトした周波数領域の光を増幅することができる。すなわち、ラマン光増幅器は、所定の波長領域内の波長を持った光を一括して増幅することができる。そして、実施形態のラマン光増幅器は、互いに波長の異なる複数の信号光が多重化された波長多重光を一括して増幅する。

【 0 0 3 0 】

図 1 において、ラマン増幅用ファイバ 1、励起光源（L D） 2、WDMカプラ 3、光分岐カプラ 4、受光デバイス（P D） 5 は、図 1 4 または図 1 7 を参照しながら説明した通りである。なお、ラマン増幅用ファイバ 1 は、例えば、一般的な伝送路用ファイバや分散補償ファイバにより実現され、光増幅媒体として使用される。また、励起光源 2 は、ある所定の波長の励起光を生成する単一のレーザダイオードにより実現されてもよいし、互いに波長の異なる複数の励起光を生成する複数のレーザダイオードにより実現されてもよい。さらに、図 1 示す実施例では、励起光源 2 により生成される励起光の光パワーは固定されているが、本発明は、励起光の光パワーを動的に制御（例えば、フィードバック制御）する構成を否定するものではない。

【 0 0 3 1 】

光分岐カプラ 1 1 は、入力光の一部を分岐して受光素子（P D） 1 2 に導く。

なお、この入力光は、互いに波長の異なる複数の信号光が多重化された波長多重光である。受光デバイス 1 2 は、例えばフォトダイオードであって、光分岐カプラ 1 1 により分岐された波長多重光の光パワーを表す電気信号を生成する。ここで、光分岐カプラ 1 1 の分岐比は固定値である。したがって、受光デバイス 1 2 から出力される電気信号をモニタすれば、入力される波長多重光の総光パワーを検出することができる。

【 0 0 3 2 】

補助光源 1 3 は、例えばレーザダイオードであって、所定の波長の補助光を生成する。なお、この補助光の波長は、複数の信号光の波長重心よりも短い波長であることが望ましい。このとき、補助光の波長は、図 2 (a) に示すように、いずれの信号光の波長よりも短い波長が使用されてもよいし、図 2 (b) に示すように、信号光のための波長領域の中の波長が使用されてもよい。このような波長が使用されれば、補助光が信号光に対する励起光として作用することができる。なお、補助光の波長は、励起光源 2 により生成される励起光の波長と同じであってもよい。また、補助光の相対強度雑音 (R I N) は、このラマン光増幅器から出力される波長多重光の雑音特性に影響を与えないような値であることが望ましい。具体的には、補助光の相対強度雑音は、例えば、 -130 dB/Hz 以下であることが望ましい。

【 0 0 3 3 】

補助光制御回路 1 4 は、受光デバイス 1 2 から出力される電気信号に基づいて入力波長多重光の光パワーをモニタする。そして、補助光制御回路 1 4 は、波長多重光の入力パワーに基づいて補助光の光パワーを制御する。具体的には、補助光制御回路 1 4 は、波長多重光の入力パワーの変化に基づいて所定の応答時間で補助光の光パワーを変化させる。このとき、補助光の光パワーは、例えば、補助光源 1 3 を駆動する駆動電流により制御される。なお、補助光制御回路 1 4 の構成および動作については、後で詳しく説明する。

【 0 0 3 4 】

WDMカプラ 1 5 は、波長多重光をラマン増幅用ファイバ 1 に導くとともに、補助光源 1 3 により生成された補助光をラマン増幅用ファイバ 1 に導く。すなわ

ち、WDMカプラ15は、波長多重光および補助光を合波してラマン増幅用ファイバ1に導く。これにより、補助光は、波長多重光と同じ方向に伝搬されるようにラマン増幅用ファイバ1に供給されることになる。

【0035】

なお、光分岐カプラ11、受光デバイス12、補助光源13、補助光制御回路14、WDMカプラ15から構成される入力側ユニット、及び、励起光源2、WDMカプラ3、光分岐カプラ4、受光デバイス5から構成される受信側ユニットは、互いに近接した位置に設けられてもよいし、互いに遠く離れた位置に設けられてもよい。

【0036】

上記構成のラマン光増幅器において、ラマン増幅用ファイバ1は励起光により励起され、入力された波長多重光（複数の信号光）は、そのラマン増幅用ファイバ1において増幅される。また、ラマン増幅用ファイバ1には、補助光が供給される。ここで、この補助光の光パワーは、波長多重光の入力パワーの変化に応じて補助光制御回路14により適切に調整される。具体的には、波長多重光のチャンネル数が増加または減少することによってその波長多重光の入力パワーが変化したときに、他のチャンネルの出力パワーが変動しないように、補助光の光パワーが調整される。したがって、実施形態のラマン光増幅器においては、チャンネル数の増加または減少などに起因して波長多重光の入力パワーが変化しても、他の各チャンネルごとの出力パワーの変動は小さく抑えられる。

【0037】

次に、補助光とラマン増幅動作との関係について説明する。

図3は、補助光が供給されない場合のラマン増幅動作を説明する図である。なお、ここでは、ラマン光増幅器は、後方励起型であり、利得飽和領域で使用されているものとする。また、励起光源2により生成される励起光の光パワーは一定であるものとする。そして、互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長多重光が増幅されているときに、その中の所定の信号光が増設または減設される場合を想定する。以下では、増設／減設される信号光を「ON／OFFチャンネル」と呼び、他のチャンネルを「残留チャンネル」と呼ぶことにする。

【 0 0 3 8 】

図 3 に示す実施例では、ON/OFF チャンネルの入出力パワー、および残留チャンネルの 1 チャンネル当たりの平均出力パワーが描かれている。なお、時刻 T 2 以前、および時刻 T 5 以降は、ON/OFF チャンネルの出力パワーおよび残留チャンネルの出力パワーは、互いにほぼ同じ値になるが、ここでは、それらを区別しやすくするために分離して描いている。

【 0 0 3 9 】

時刻 T 1 において、ON/OFF チャンネルの入力が停止すると、所定時間経過後、時刻 T 2 において ON/OFF チャンネルの出力が停止する。ここで、ON/OFF チャンネルの入力が停止した時から ON/OFF チャンネルの出力が停止するまでの時間（時刻 T 1 ～時刻 T 2）は、ラマン増幅用ファイバ 1 における信号伝搬時間に相当する。

【 0 0 4 0 】

時刻 T 2 ～時刻 T 3 において、残留チャンネルの出力パワーが徐々に上昇していく。そして、時刻 T 3 以降は、その残留チャンネルの出力パワーが安定する。ここで、残留チャンネルの出力パワーの上昇が始まった時から安定するまでに要する時間（時刻 T 2 ～時刻 T 3）は、ラマン増幅用ファイバ 1 における信号伝搬時間に依存（例えば、比例）する。

【 0 0 4 1 】

さらに、時刻 T 4 において、ON/OFF チャンネルが増設されると、時刻 T 5 において ON/OFF チャンネルの信号光が出力されるようになる。そして、時刻 T 5 以降、残留チャンネルの出力パワーが徐々に低下していき、所定時間経過後に時刻 T 2 以前の状態に戻る。ここで、この所定時間も、ラマン増幅用ファイバ 1 における信号伝搬時間に依存（例えば、比例）する

このように、補助光が供給されていない場合は、利得飽和状態において ON/OFF チャンネルを増設／減設すると、残留チャンネルの出力パワーが変動してしまう。すなわち、ON/OFF チャンネルが停止することによって波長多重光の入力パワーが低下すると、ラマン増幅用ファイバ 1 の飽和レベルが下がり、利得が大きくなるので、それに応じて残留チャンネルの 1 チャンネル当たりの出力パワーが大

きなくなってしまう。反対に、ON/OFFチャネルが増設されることによって波長多重光の入力パワーが上昇すると、ラマン増幅用ファイバ1の飽和レベルが上がり、利得が小さくなるので、それに応じて残留チャネルの1チャネル当たりの出力パワーが小さくなってしまう。

【0042】

したがって、実施形態のラマン光増幅器では、上述のような残留チャネルの出力パワーの変動を抑えるために、ラマン増幅用ファイバ1に補助光を供給すると共に、波長多重光の入力パワーの変化に応じてその補助光の光パワーを制御するようにしている。

【0043】

図4は、補助光が供給される場合のラマン増幅動作を説明する図である。ここで、時刻T1においてON/OFFチャネルの入力が停止し、時刻T4においてそのON/OFFチャネルが増設される動作は、図3に示した実施例と同じである。

【0044】

この場合、時刻T1においてON/OFFチャネルの入力が停止すると、補助光の光パワーは、所定の応答時間で徐々に低下していくように制御される。これにより、補助光の光パワーは、時刻T11から時刻T12にかけて徐々に低下していく。そして、このようにして補助光の光パワーを変化させると、残留チャネルの出力パワーの変動が抑えられる。すなわち、ON/OFFチャネルの入力が停止しても、残留チャネルの出力パワーの変動は小さく抑えられる。

【0045】

同様に、時刻T4においてON/OFFチャネルが増設されると、補助光の光パワーは、所定の応答時間で徐々に上昇していくように制御される。これにより、補助光の光パワーは、時刻T13から時刻T14にかけて徐々に上昇していく。そして、このようにして補助光の光パワーを変化させると、残留チャネルの出力パワーの変動が抑えられる。すなわち、ON/OFFチャネルが増設されても、残留チャネルの出力パワーの変動は小さく抑えられる。

【0046】

なお、ON/OFFチャネルが増設／減設されたときの補助光の変化パターン（補助光の変化量および応答時間）は、残留チャネルの出力パワーの変動が最小化されるように決定される。ここで、この変化パターンは、シミュレーションまたは実機テスト等により決定される。この応答時間は、具体的には、例えば、以下のいずれかのルールに従って決定される。

1. ラマン増幅用ファイバ1のファイバ長に比例する値に設定される。
2. ラマン増幅用ファイバ1における信号伝搬時間に比例（例えば、2倍程度）する値に設定される。
3. 補助光が供給されない環境下でON/OFFチャネルが増設／減設されたときに残留チャネルがある定常状態から次の定常状態に遷るまでの応答時間と同程度の値に設定される。
4. ON/OFFチャネルの増設／減設に起因するラマン増幅用ファイバ1における飽和レベルの変化を補償するような値に設定される。
5. ON/OFFチャネルの増設／減設に起因するラマン増幅用ファイバ1における利得の変化を補償するような値に設定される。

【 0 0 4 7 】

このように、適切に制御された補助光が供給されれば、利得飽和状態においてON/OFFチャネルを増設／減設しても、残留チャネルの出力パワーの変動は小さく抑えられる。すなわち、ON/OFFチャネルが停止することによって波長多重光の波長数が減少した場合には、励起光として作用する補助光の光パワーを徐々に低下させていくことにより、ラマン増幅用ファイバ1の飽和レベルが一定に保たれる。また、ON/OFFチャネルが増設されることによって波長多重光の波長数が増加した場合には、励起光として作用する補助光の光パワーを徐々に上昇させていくことにより、ラマン増幅用ファイバ1の飽和レベルが一定に保たれる。この結果、波長多重光のチャネル数が変化した場合であっても、飽和レベルが常に一定に保たれることによって常に利得が一定に保たれ、残留チャネルの1チャネル当たりの出力パワーもほぼ一定に保たれる。

【 0 0 4 8 】

なお、図3～図4では、利得飽和状態においてON/OFFチャネルを増設／

減設する場合について説明したが、信号光間ラマン増幅が発生している場合も同様に、ON/OFFチャンネルの増設/減設に起因して残留チャンネルの出力パワーの変動が引き起こされる。

【 0 0 4 9 】

図5は、信号光間ラマン増幅が生じている場合のラマン光増幅器の出力特性を示す図である。なお、信号光間ラマン増幅とは、波長多重光の中の長い波長を持った信号光が短い波長を持った信号光によって増幅される現象をいう。

【 0 0 5 0 】

図5において、補助光が供給されていない場合は、時刻T1においてON/OFFチャンネルが停止すると、残留チャンネルの出力パワーは、その時から時間T_pが経過したときにノッチ（瞬間的な急激な変化）が発生し、その後、時間T_pの2倍程度の応答時間で収束していく。同様に、時刻T2においてON/OFFチャンネルが増設されると、残留チャンネルの光パワーは、その時から時間T_pが経過したときにノッチが発生し、その後、時間T_pの2倍程度の応答時間で収束していく。すなわち、補助光が供給されなければ、残留チャンネルの出力パワーは、大きく変動することになる。

【 0 0 5 1 】

上述の補助光は、このような残留チャンネルの出力パワーの変動を抑えるためにも有効である。すなわち、この補助光の光パワーは、ON/OFFチャンネルが停止したときは、その時点から時間T_pの2倍程度の応答時間で上昇していくように制御され、ON/OFFチャンネルが増設されたときは、その時点から時間T_pの2倍程度の応答時間で低下していくように制御される。そして、この結果、残留チャンネルの出力パワーは、信号光間ラマン増幅が発生している場合にON/OFFチャンネルが増設/減設されても、ほとんど変動することはなく、ノッチの発生も抑圧される。

【 0 0 5 2 】

なお、補助光を用いて残留チャンネルの出力パワーの変動を抑えることができる理由は、その補助光がフィードフォワード制御で調整されていることにある。すなわち、もし、補助光がラマン増幅用ファイバ1の後方から供給され、その補助

光がフィードバック制御により調整されるとすると、残留チャネルの出力パワーが変化を検出した後に補助光の光パワーが調整されることになるので、その制御が出力パワーの変動に対して遅延することになる。これに対して、フィードフォワード制御においては、残留チャネルの出力パワーが変化する前に、ラマン増幅用ファイバ1の飽和状態が一定の値に保持されるように、或いは、ラマン増幅用ファイバ1の利得が一定の値に保持されるように補助光が調整されるので、残留チャネルの出力パワーの変動を抑えることが可能になる。

【 0 0 5 3 】

図6は、図1に示す補助光制御回路14の実施例である。オペアンプ21は、受光デバイス(PD)12から出力される信号を増幅する。ここで、受光素子12から出力される信号は、当該ラマン光増幅器に入力される波長多重光の光パワーを表す。A/D変換器22は、オペアンプ21から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換する。演算部23は、例えばDSPであって、A/D変換器22の出力を使用して所定の演算を行い、補助光源13を駆動するための信号を生成する。D/A変換器24は、演算部23から出力されるデジタル信号をアナログ信号に変換する。オペアンプ25は、D/A変換器24の出力を増幅する。パワートランジスタ26は、オペアンプ25の出力に従って補助光源13に駆動電流を供給する。

【 0 0 5 4 】

上記補助光制御回路14において、演算部23は、入力される波長多重光の光パワーの変化に基づいて補助光の光パワーの変化パターンを決定する。ここで、補助光の光パワーの変化パターンは、例えば、「応答時間」「変化前の補助光レベル」「変化後の補助光レベル」により表される。

【 0 0 5 5 】

図7に示す例では、波長多重光の入力パワーが第1の入力レベルのときは補助光の光パワーが第1の補助光レベルに設定され、波長多重光の入力パワーが第2の入力レベルのときは補助光の光パワーが第2の補助光レベルに設定されるものとする。そして、波長多重光の中の所定の信号光が停止することにより、波長多重光の入力レベルが第1の入力レベルから第2の入力レベルに変化したときは、補

助光は、所定の応答時間で第1の補助光レベルから第2の補助光レベルに変化するように制御される。ここで、補助光の光パワーおよび応答時間は、利得飽和量および信号間ラマンチルト量に基づいて算出される。そして、利得飽和量および信号間ラマンチルト量は、利得係数、実効断面積、損失係数などのラマン増幅用ファイバ1のラマンパラメータ、およびラマン増幅用ファイバ1の長さに基づいて決定される。いずれにしても、入力パワーの変化に起因する出力パワーの変動を抑えるための補助光の変化パターンは、シミュレーション等により得ることができる。

【0056】

なお、図6に示す実施例では、演算部23が補助光の変化パターンを演算する構成になっているが、本発明はこの構成に限定されるものではない。すなわち、補助光の変化パターンを表すパターン情報を予め所定のメモリ上に作成されるテーブルに格納しておき、波長多重光の入力パワーが変化したときに、その変化に応じて上述のテーブルから上記パターン情報を取り出して使用するようにしてもよい。

【0057】

このように、実施形態のラマン光増幅器においては、ラマン増幅用ファイバ1には、後方励起光が供給されると共に、前方励起光として補助光が供給される。そして、この補助光の光パワーは、波長多重光の入力パワーが第1の入力レベルから第2の入力レベルに変化したときに、その波長多重光に含まれている各信号光の出力パワーの変動が抑えられるように、第1の入力レベルに対応する第1の定常状態から第2の入力レベルに対応する第2の定常状態へラマン増幅用ファイバ1の伝搬時間の2倍程度の応答時間で徐々に変化していく。これにより、波長多重光の入力パワーが変動した場合であっても、その波長多重光に含まれている各信号光の出力パワーの変動が抑えられる。

【0058】

図8は、本発明の他の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。このラマン光増幅器の基本構成は、図1に示したラマン光増幅器を同じである。ただし、図1に示したラマン光増幅器は、波長多重光の入力パワー（総光パワー）の変化に

基づいて補助光の光パワーが制御される構成であった。これに対して、このラマン光増幅器は、増設／減設される信号光の波長に基づいて補助光の光パワーが制御される。

【 0 0 5 9 】

図 8 において、光分岐カプラ 1 1 は、入力波長多重光の一部を分岐して光スペクトルアナライザ 3 1 に導く。光スペクトルアナライザ 3 1 は、波長多重光のスペクトルを分析する。すなわち、光スペクトルアナライザ 3 1 は、波長多重光に含まれている各信号光の光パワーを検出する。したがって、光スペクトルアナライザ 3 1 の出力をモニタすれば、波長多重光の中のどのチャンネルが増設／減設されたのかを認識できる。

【 0 0 6 0 】

補助光制御回路 3 2 は、増設／減設されたチャンネルの波長に基づいて、補助光の光パワーを制御する。ここで、補助光制御回路 3 2 の動作は、基本的には、図 1 に示した補助光制御回路 1 4 の動作と同じである。すなわち、いずれの補助光制御回路も、波長多重光が変化したときに、ラマン増幅用ファイバ 1 の信号伝搬時間に比例する応答時間で補助光の光パワーを変化させる。しかし、補助光制御回路 3 2 は、増設／減設される信号光の波長に応じて、補助光の光パワーの変化パターンが異なる。以下、図 9 および図 1 0 を参照しながら、補助光制御回路 3 2 の動作を説明する。

【 0 0 6 1 】

図 9 は、波長多重光の状態を示す図である。ここでは、この波長多重光は、互いに波長の異なる 8 波のチャンネルを伝送するものとする。そして、図 9 (a) は全てのチャンネルが使用されている状態、図 9 (b) はチャンネル 1 が停止している状態、図 9 (c) はチャンネル 4 が停止している状態を示している。

【 0 0 6 2 】

図 1 0 は、波長多重光の状態に対応する補助光の光パワーの設定値を管理する管理テーブルの実施例である。ここで、図 1 0 において、例えば、「1 1 1 1 1 1 1 1」は全てのチャンネルが使用されている状態を表し、「0 1 1 1 1 1 1 1」はチャンネル 1 が停止している状態を表している。なお、このテーブルに登録され

ている補助光パワー値は、その補助光が供給されたときに波長多重光の各チャネルの出力パワーが等化されるような値であり、予めシミュレーション等により算出されているものとする。さらに、制御回路内の演算処理により、随時、補助光レベルを算出するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

補助光制御回路 3 2 は、光スペクトルアナライザ 3 1 からの出力信号に基づいて波長多重光の状態を検出すると、図 1 0 に示すテーブルを参照し、補助光の光パワーを決定する。例えば、図 9 (a) に示すように全てのチャネルが使用されていれば、補助光制御回路 3 2 は、補助光の光パワーが「A 0」になるように補助光源 1 3 を駆動する。

【 0 0 6 4 】

また、補助光制御回路 3 2 は、光スペクトルアナライザ 3 1 からの出力信号に基づいて波長多重光の状態の変化を検出すると、図 1 0 に示すテーブルを参照して補助光の変化パターンを決定する。例えば、図 9 (a) に示す状態においてチャネル 1 が停止すると、補助光制御回路 3 2 は、補助光の光パワーが「A 0」から「A 1」に変化するように補助光源 1 3 を駆動する。同様に、図 9 (a) に示す状態においてチャネル 4 が停止すると、補助光制御回路 3 2 は、補助光の光パワーが「A 0」から「A 4」に変化するように補助光源 1 3 を駆動する。このとき、補助光の光パワーが「A 0」から「A 1」に変化するまで応答時間、または「A 0」から「A 4」に変化するまで応答時間は、それぞれ、例えば、ラマン増幅用ファイバ 1 の伝搬時間の 2 倍程度の時間である。

【 0 0 6 5 】

図 1 1 は、図 8 に示す補助光制御回路 3 2 の実施例である。補助光制御回路 3 2 の基本構成は、図 6 に示した補助光制御回路 1 4 と同じである。なお、光スペクトルアナライザ 3 1 の出力がアナログインタフェースである場合は、光スペクトルアナライザ 3 1 の出力信号は A / D 変換器 2 2 を介して演算部 2 3 に与えられる。一方、光スペクトルアナライザ 3 1 の出力がシリアルインタフェースである場合は、光スペクトルアナライザ 3 1 の出力信号は直接的に演算部 2 3 に与えられる。

【 0 0 6 6 】

図 1 2 は、本発明のさらに他の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。このラマン光増幅器の基本構成は、図 8 に示したラマン光増幅器と同じである。すなわち、このラマン光増幅器においても、増設／減設される信号光の波長に基づいて補助光の光パワーが制御される。ただし、図 8 に示したラマン光増幅器は、光スペクトルアナライザを用いて波長多重光の状態をモニタすることにより、増設／減設される信号光の波長が検出される構成である。これに対して、このラマン光増幅器は、波長多重光に含まれる複数の信号光の状態を表す状態情報を外部から受け取り、その状態情報を利用して補助光の光パワーを制御する。なお、この状態情報は、後述する監視信号により伝送される。

【 0 0 6 7 】

補助光制御回路 4 1 は、監視信号を受信し、その監視信号を利用して補助光の光パワーを制御する。ここで、この監視信号は、増設／減設されるチャネルの波長を表す情報、あるいは、各チャネルの使用／不使用を現す情報を含んでいる。また、この監視信号は、例えば、図 1 3 に示すように、伝送システムの端局において生成され、伝送路上の各ラマン光増幅器に通知される。なお、この監視信号は、実際にチャネルの増設／減設が行われるよりも前に各ラマン増幅器に通知される。

【 0 0 6 8 】

また、制御光監視回路 4 1 は、図 1 に示した制御光監視回路 1 4 と同様に、波長多重光の入力パワーの変化をモニタする。従って、補助光管理回路 4 1 は、波長多重光の中のチャネルが増設／減設されたタイミングを検出できる。そして、このとき、補助光制御回路 4 1 は、先に端局から送られてきている監視信号により、増設／減設されたチャネルの波長を認識している。したがって、補助光管理回路 4 1 は、光スペクトルアナライザを設けることなく、増設／減設されたチャネルの波長およびその増設／減設のタイミングを検出できる。すなわち、図 1 2 に示すラマン光増幅器は、実質的に、図 8 に示したラマン光増幅器と同じ動作を実現をすることができる。

【 0 0 6 9 】

なお、図 1、図 8、図 12 に示すラマン光増幅器において、補助光は無偏光化されていることが望ましい。ここで、例えば、複数のレーザ光源を用いて互いに同じ波長の連続光を生成してそれらを直交偏波合成すれば、無偏光化された補助光が生成される。そして、この構成を導入すれば、補助光を使用する場合であっても、信号光の利得の偏光依存性の増加を抑えられる。

【 0 0 7 0 】

また、双方向励起型のラマン光増幅器においては、図 1 に示した補助光制御回路 14、図 8 に示した補助光制御回路 32、または図 12 に示した補助光制御回路 41 を用いて前方励起光を制御すれば、増幅器自体の構成を変えることなく、本発明の効果を享受することができる。

【 0 0 7 1 】

（付記 1）波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、
上記波長多重光が入力される光増幅媒体、
上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、
上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、
上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に導く光デバイス、
上記波長多重光の入力パワーに基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段、
を有するラマン光増幅器。

【 0 0 7 2 】

（付記 2）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、
上記補助光の波長は、上記励起光の波長と同じである。

（付記 3）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、
上記励起光は、上記波長多重光と逆方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に導かれる。

【 0 0 7 3 】

（付記 4）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、
上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーの変化に基づいて上記補

助光の光パワーを所定の応答時間で変化させる。

【 0 0 7 4 】

（付記 5）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、

上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーが変化したときに、上記光増幅媒体から出力される上記波長多重光の出力パワーの変動が抑圧されるように上記波長多重光の入力パワーの変化に基づいて上記補助光の光パワーを変化させる。

【 0 0 7 5 】

（付記 6）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、

上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーが第 1 の入力レベルから第 2 の入力レベルに変化したときに、上記補助光を、上記第 1 の入力レベルに対応する第 1 の定常状態から上記第 2 の入力レベルに対応する第 2 の定常状態へ上記光増幅媒体の波長多重光あるいは励起光の伝搬時間に基づいて決まる応答時間で変化させる。

【 0 0 7 6 】

（付記 7）付記 6 に記載のラマン光増幅器であって、

上記応答時間は、上記光増幅媒体における波長多重光あるいは励起光の伝搬時間に比例する。

【 0 0 7 7 】

（付記 8）付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、

上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーが第 1 の入力レベルから第 2 の入力レベルに変化したときに、上記補助光を、上記第 1 の入力レベルに対応する第 1 の定常状態から上記第 2 の入力レベルに対応する第 2 の定常状態へ上記光増幅媒体の長さに基づいて決まる応答時間で変化させる。

【 0 0 7 8 】

（付記 9）付記 4 ～ 6 のいずれか 1 つに記載のラマン光増幅器であって、

上記波長多重光の入力パワーの変化は、その波長多重光の波長数の変化によるものである。

【 0 0 7 9 】

(付記 1 0) 付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、

上記補助光制御手段は、上記波長多重光の入力パワーが変化したときに、上記波長多重光に含まれる複数の信号光どうしの間で生じる誘導ラマン散乱による影響を考慮して上記補助光の光パワーを変化させる。

【 0 0 8 0 】

(付記 1 1) 付記 1 に記載のラマン光増幅器であって、

上記補助光制御手段は、

上記波長多重光の入力パワーの変化を表す情報を検索キーとして上記補助光の光パワーの変化のパターンを表すパターン情報を格納する格納手段、

検出された上記波長多重光の入力パワーの変化に基づいて上記格納手段から対応するパターン情報を抽出し、そのパターン情報に基づいて上記補助光源を駆動する駆動制御手段、

を有する。

【 0 0 8 1 】

(付記 1 2) 波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、

上記波長多重光が入力される光増幅媒体、

上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、

上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、

上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に導く光デバイス、

上記波長多重光に含まれている複数の信号光の波長配置を検出する検出手段、

上記検出手段により検出された信号光の波長配置の変化に基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段、

を有するラマン光増幅器。

【 0 0 8 2 】

(付記 1 3) 波長多重光の中の信号光の状態を表す状態情報が伝送路上の増幅ノードに通知される光伝送システムにおいて上記波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、

上記波長多重光が入力される光増幅媒体、

上記光増幅媒体に励起光を供給する励起光源、
 上記波長多重光の重心波長よりも短い波長の補助光を生成する補助光源、
 上記補助光を上記波長多重光と同じ方向に伝搬されるように上記光増幅媒体に
 導く光デバイス、
 上記状態情報に基づいて上記補助光の光パワーを制御する補助光制御手段、
 を有するラマン光増幅器。

【 0 0 8 3 】

(付記 1 4) 付記 1、1 2、1 3 のいずれか 1 つに記載のラマン光増幅器であ
 って、
 上記光増幅媒体から出力される上記波長多重光の雑音特性に影響を与えない範
 囲で上記補助光の相対強度雑音が設定される。

【 0 0 8 4 】

(付記 1 5) 付記 1 4 に記載のラマン光増幅器であって、
 上記補助光の相対強度雑音は、 -130 dB/Hz 以下である。
 (付記 1 6) 付記 1、1 2、1 3 のいずれか 1 つに記載のラマン光増幅器であ
 って、
 上記補助光を無偏光化する無偏光化手段をさらに有する。

【 0 0 8 5 】

(付記 1 7) 波長多重光を増幅するラマン光増幅器であって、
 上記波長多重光が入力される光増幅媒体、
 上記光増幅媒体に前方励起光を供給する前方励起光源、
 上記光増幅媒体に後方励起光を供給する後方励起光源、
 上記波長多重光の入力パワーに基づいて上記前方励起光の光パワーを制御する
 制御手段、
 を有するラマン光増幅器。

【 0 0 8 6 】

【発明の効果】

本発明によれば、後方励起のラマン光増幅器において、増幅すべき波長多重光
 の伝搬方向と同じ方向に伝搬されるように補助光を供給し、その波長多重光の入

力パワーの変化、又は、その波長多重光の状態の変化に応じて補助光の光パワーを変化させるようにしたので、波長多重光の波長数が変化したときであっても、その波長多重光に含まれる各信号光の出力レベルの変動が抑えられる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。

【図 2】

信号光および補助光の配置を説明する図である。

【図 3】

補助光が供給されていない場合のラマン増幅動作を説明する図である。

【図 4】

補助光が供給される場合のラマン増幅動作を説明する図である。

【図 5】

信号間ラマン増幅が生じている場合の出力特性を示す図である。

【図 6】

図 1 に示す補助光制御回路の実施例である。

【図 7】

補助光の変化パターンについて説明する図である。

【図 8】

本発明の他の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。

【図 9】

波長多重光の状態を示す図である。

【図 1 0】

波長多重光の状態に対応する補助光の光パワーの設定値を管理する管理テーブルの実施例である。

【図 1 1】

図 8 に示す補助光制御回路の実施例である。

【図 1 2】

本発明の他の実施形態のラマン光増幅器の構成図である。

【図 1 3】

図 1 2 に示すラマン光増幅器が使用される伝送システムの構成を示す図である。

【図 1 4】

一般的なラマン光増幅器の基本構成図である。

【図 1 5】

ラマン光増幅器の出力応答波形を示す図である。

【図 1 6】

信号光間ラマン増幅が生じているときのラマン光増幅器の出力応答波形を示す図である。

【図 1 7】

励起光を動的に制御する機能を備えたラマン光増幅器の構成図である。

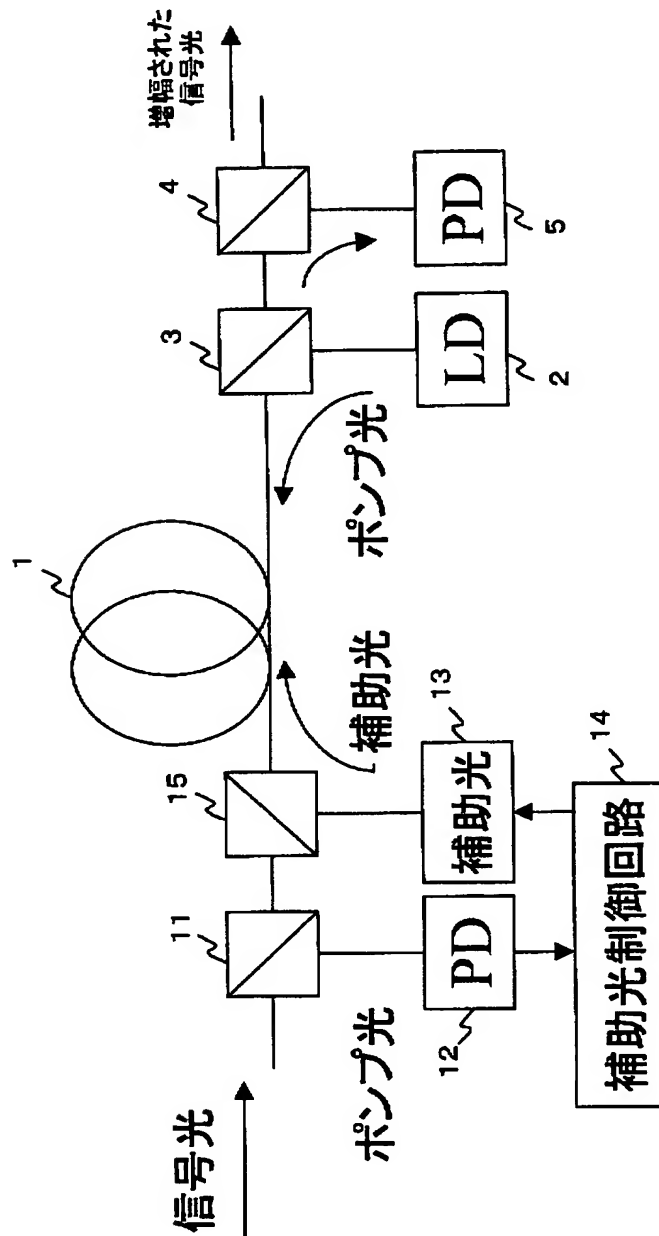
【符号の説明】

- 1 ラマン増幅用ファイバ
- 2 励起光源（LD）
- 3 WDMカプラ
- 4 光分岐カプラ
- 5 受光デバイス（PD）
- 6 制御回路
- 1 1 光分岐カプラ
- 1 2 受光デバイス（PD）
- 1 3 補助光源
- 1 4 補助光制御回路
- 1 5 WDMカプラ
- 2 3 演算部
- 3 1 光スペクトルアナライザ
- 3 2 補助光制御回路
- 4 1 補助光制御回路

【書類名】 図面

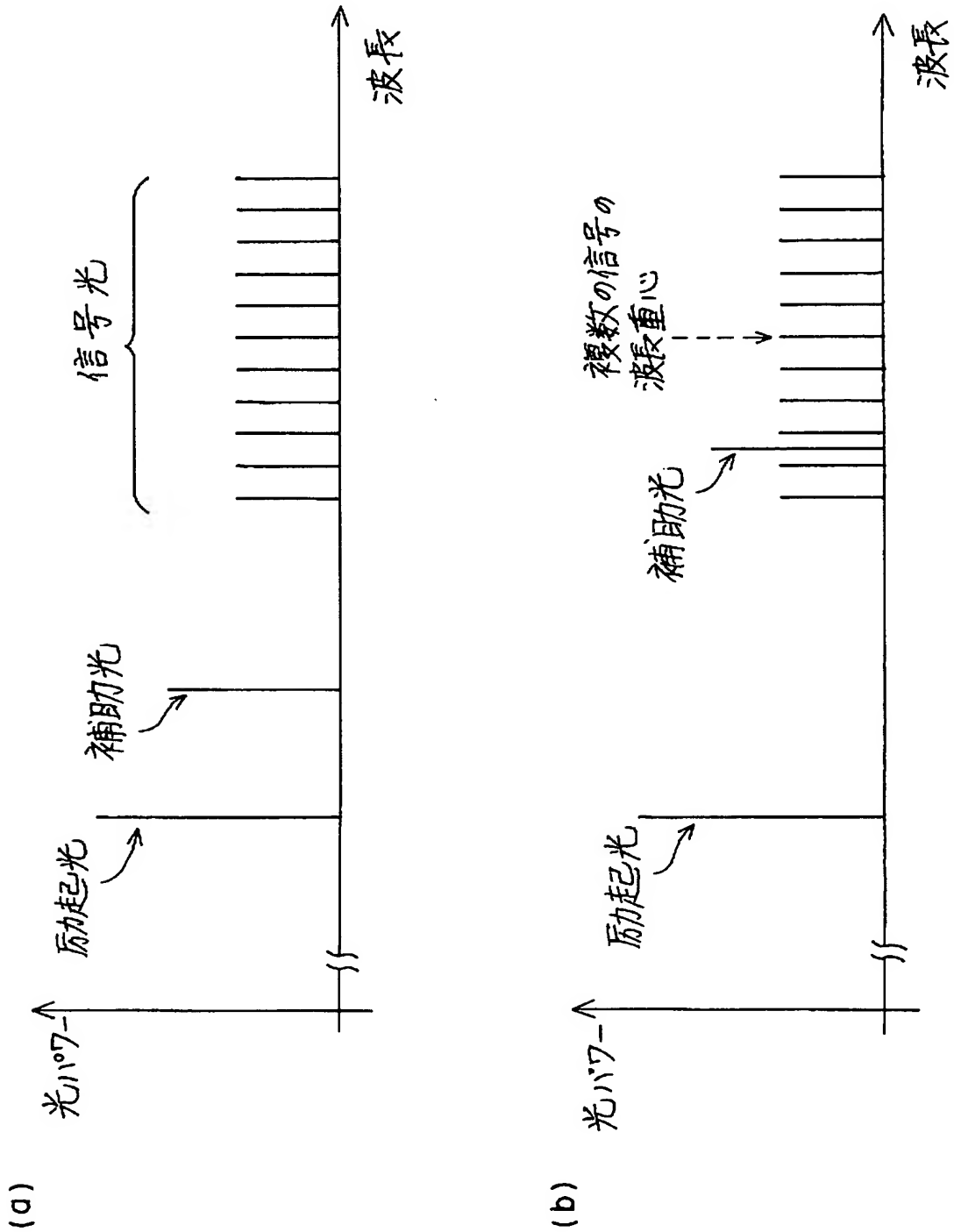
【図 1】

本発明の実施形態のラマン光増幅器の構成図



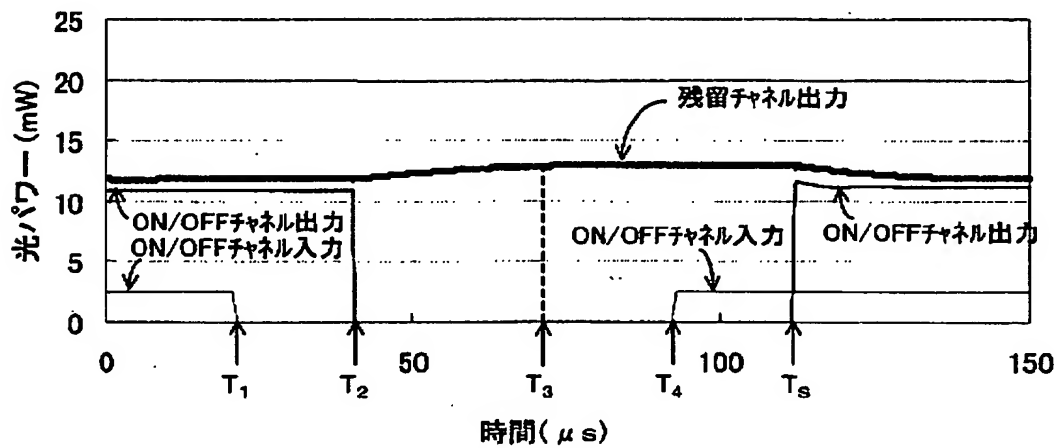
【図 2】

信号光および補助光の配置を説明する図



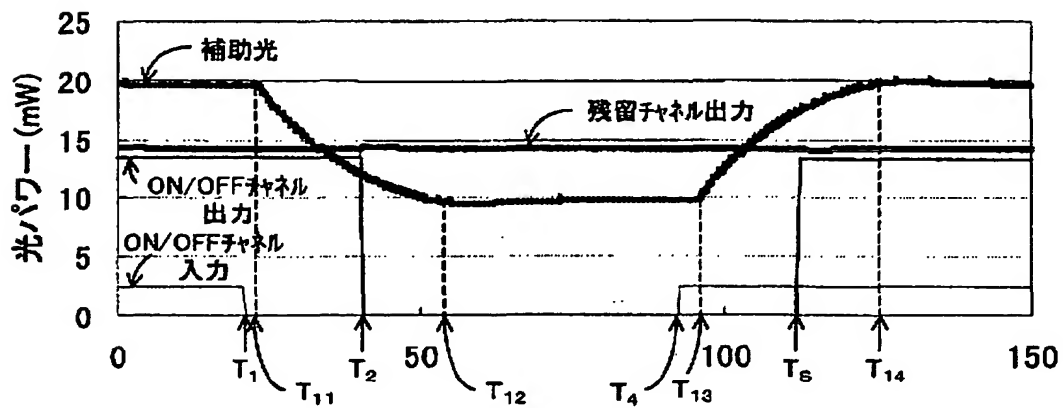
【図 3】

補助光が供給されていない場合のラマン増幅動作を説明する図



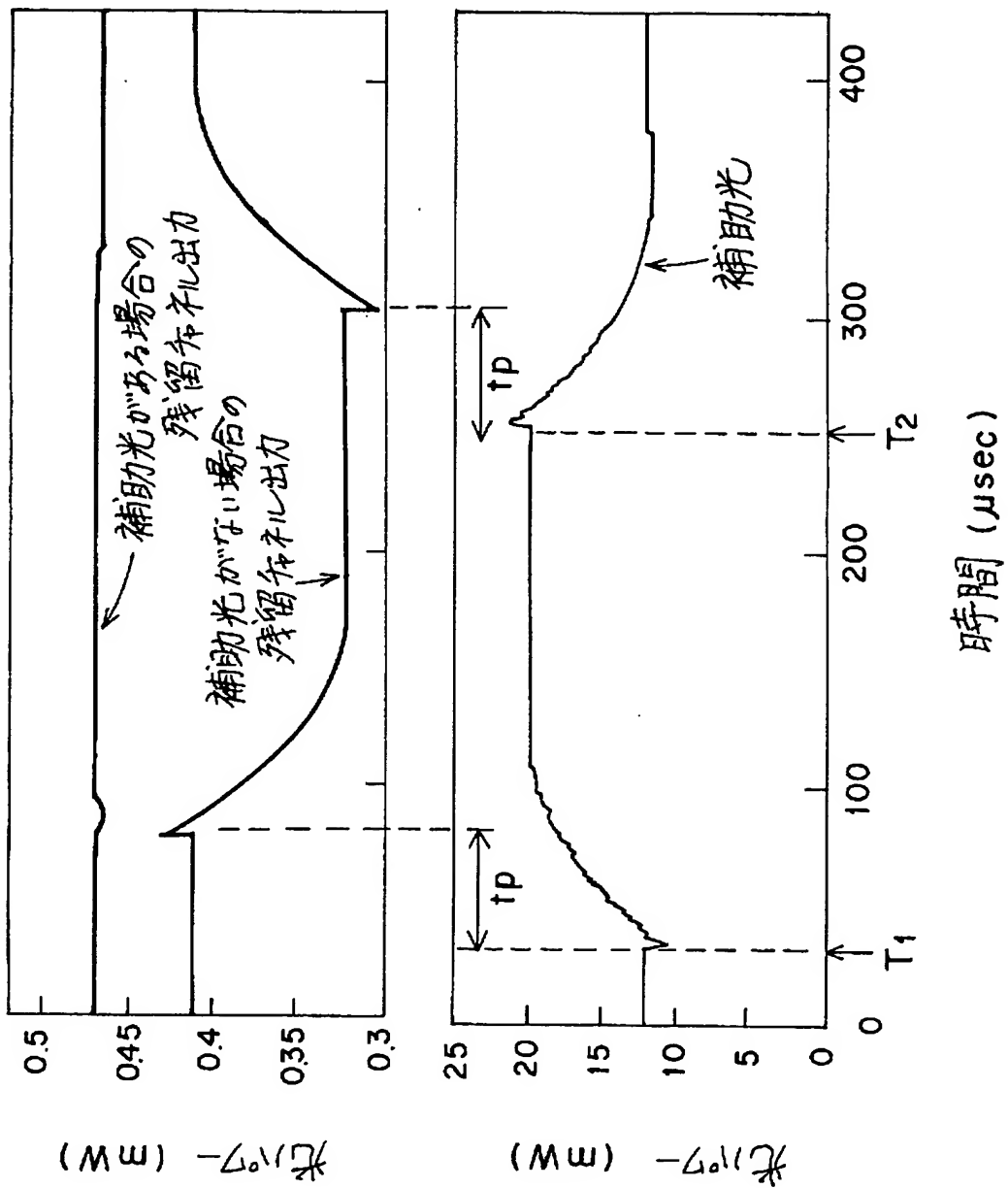
【図 4】

補助光が供給される場合のラマン増幅動作を説明する図



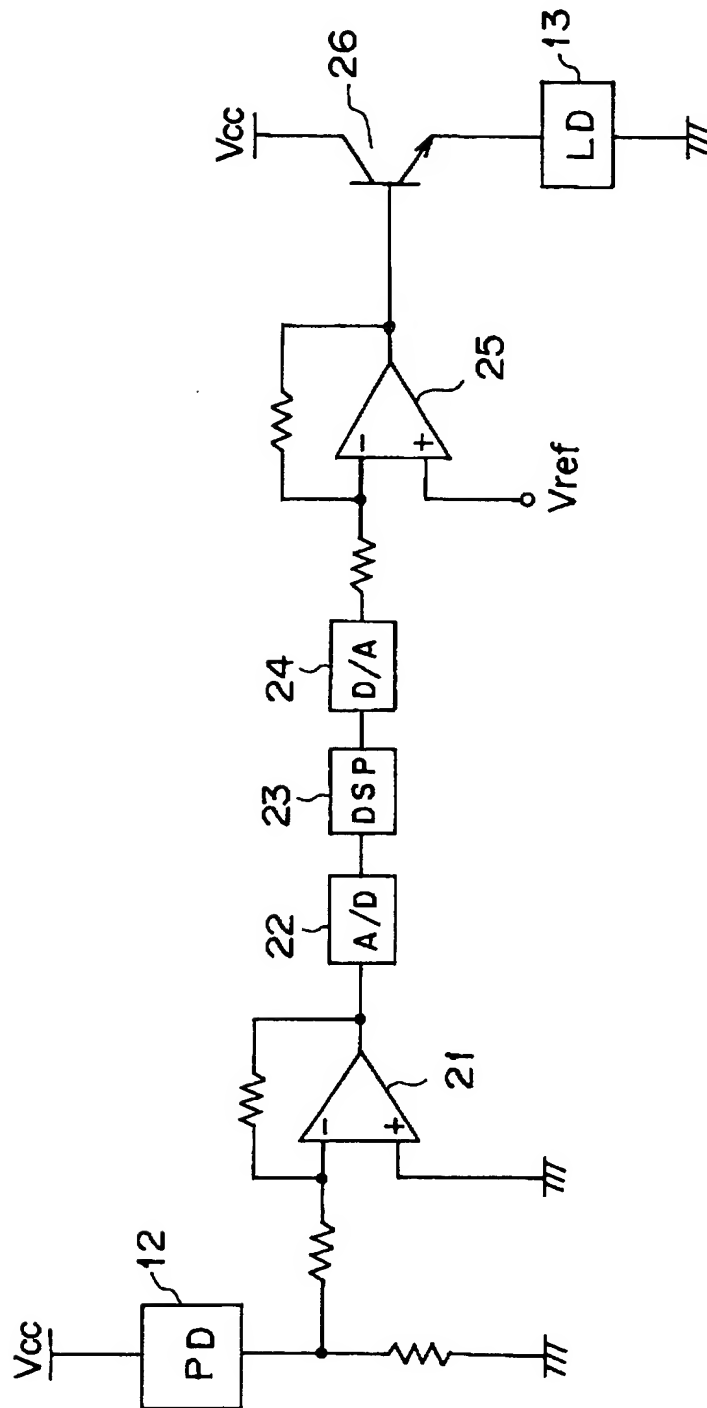
【図5】

信号間ラマン増幅が生じている場合の出力特性
を示す図



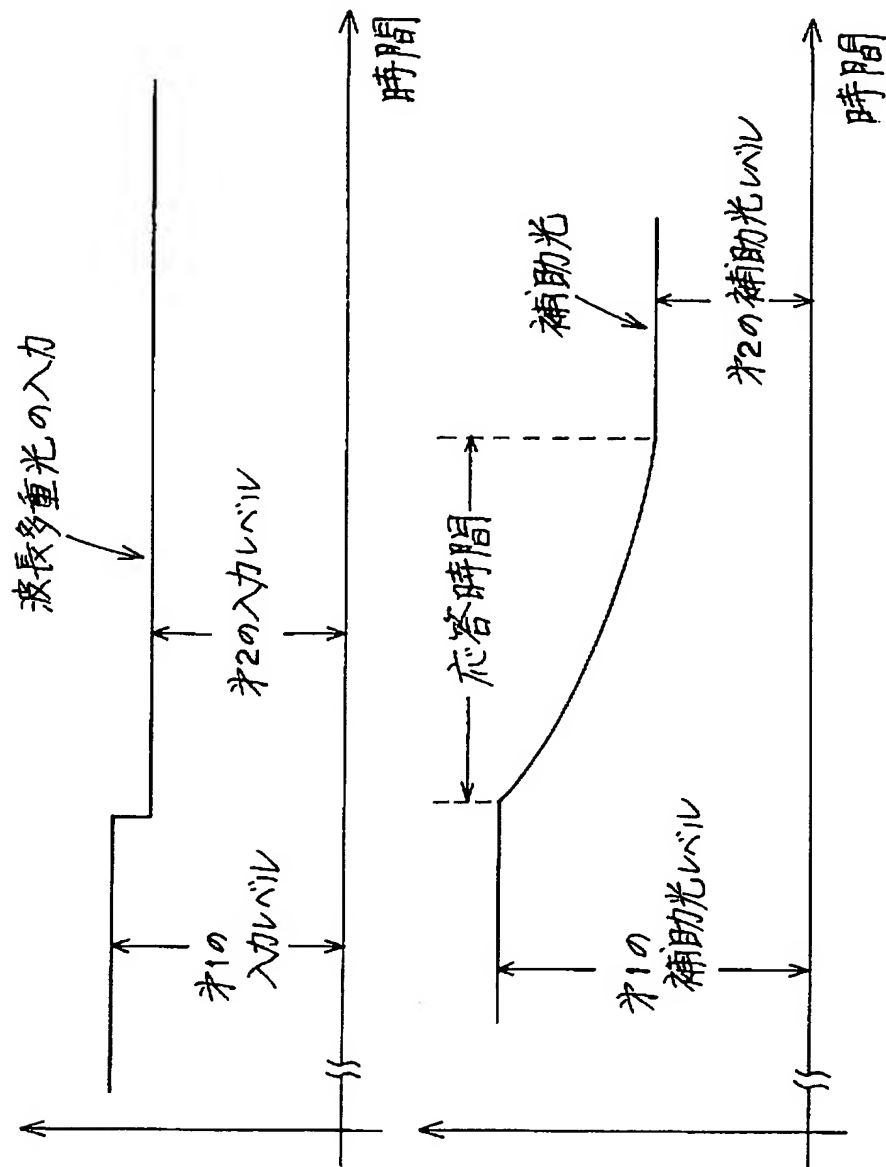
【図 6】

図 1 に示す補助光制御回路の実施例



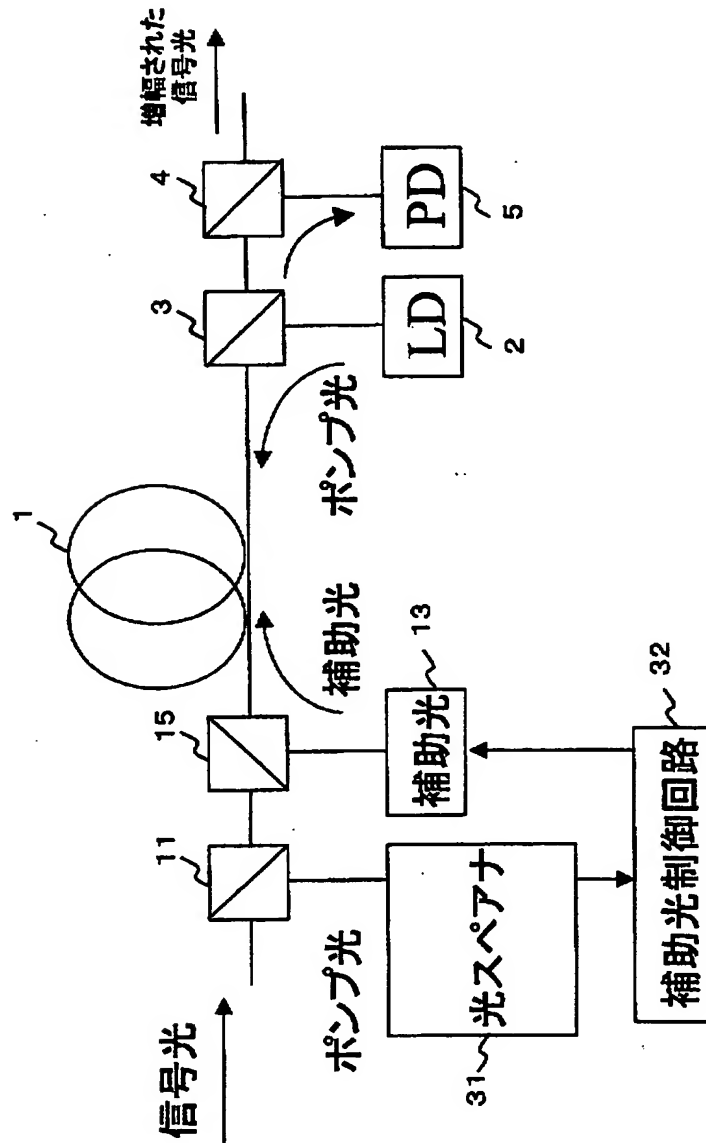
【図7】

補助光の変化パターンについて説明する図



【図 8】

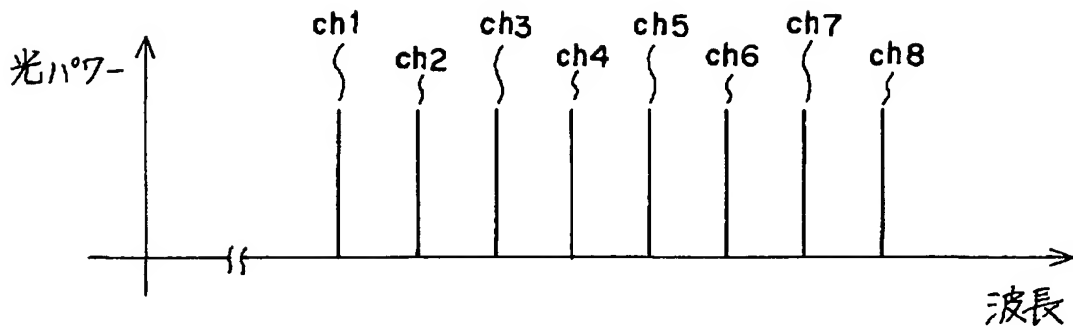
本発明の他の実施形態のラマン光増幅器の構成図



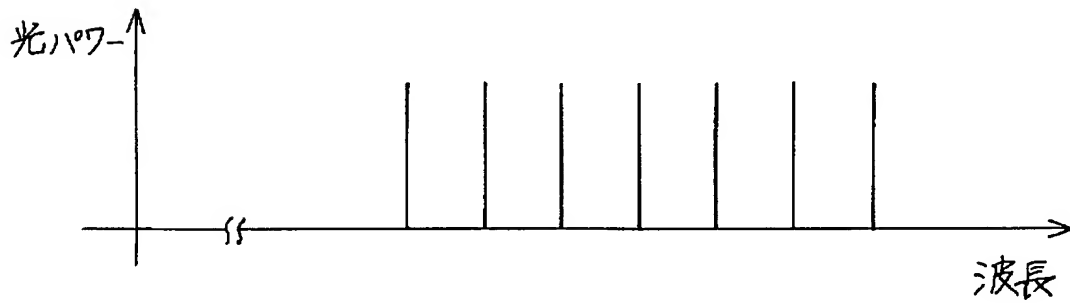
【図 9】

波長多重光の状態を示す図

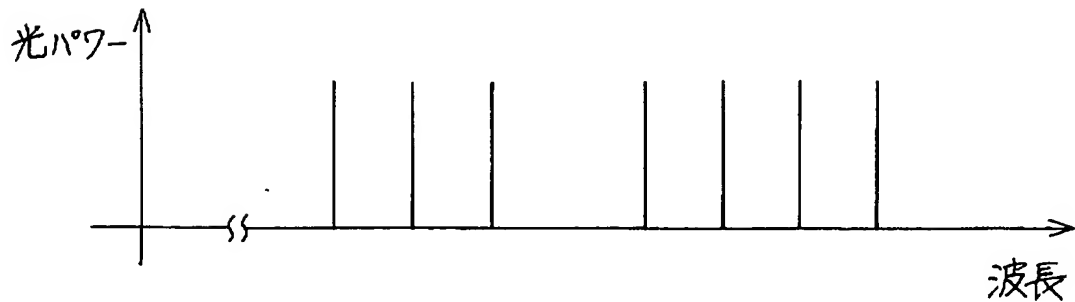
(a)



(b)



(c)



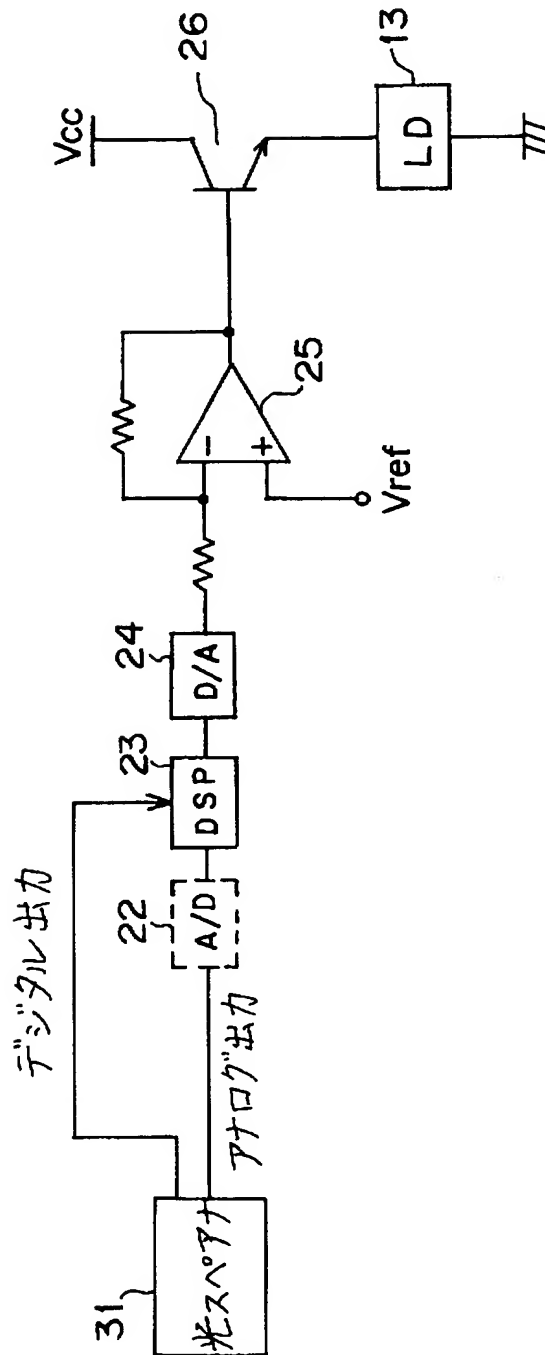
【図 1 0】

波長多重光の状態に対応する補助光の光パワー
の設定値を管理する管理テーブルの実施例

信号光の配置	補助光レベル
	A0
0	A1
0	A2
0	A3
0	A4
0	A5
0	A6
0	A7
0	A8
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

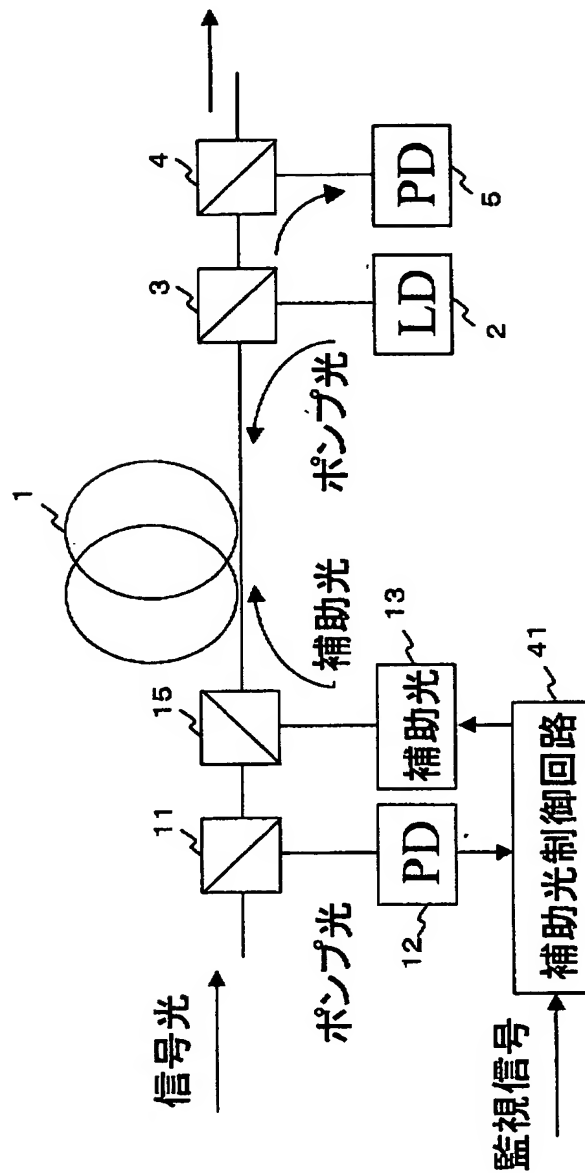
【図 11】

図8に示す補助光制御回路の実施例



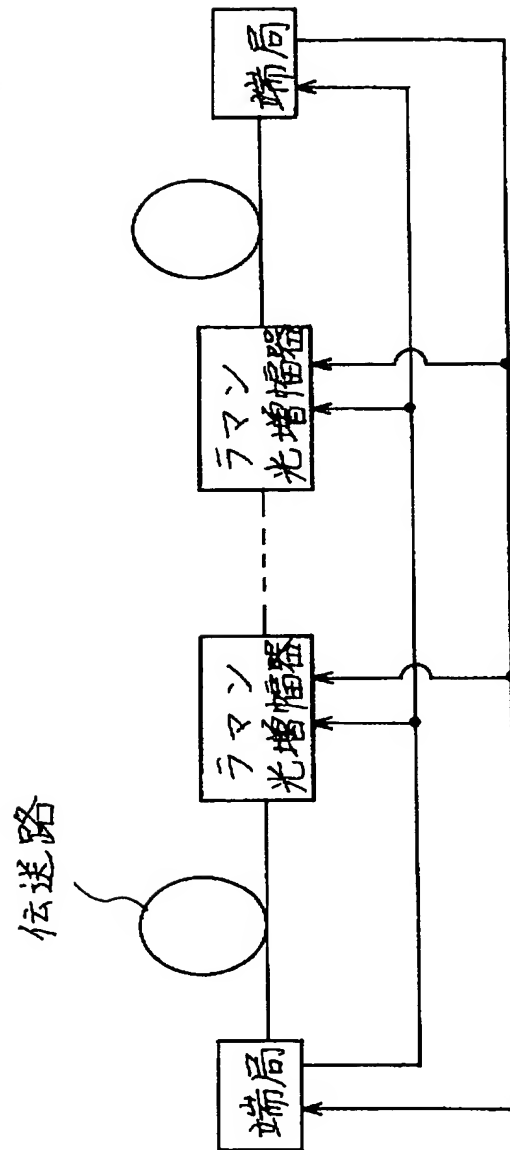
【図 1 2】

本発明の他の実施形態のラマン光増幅器の構成図



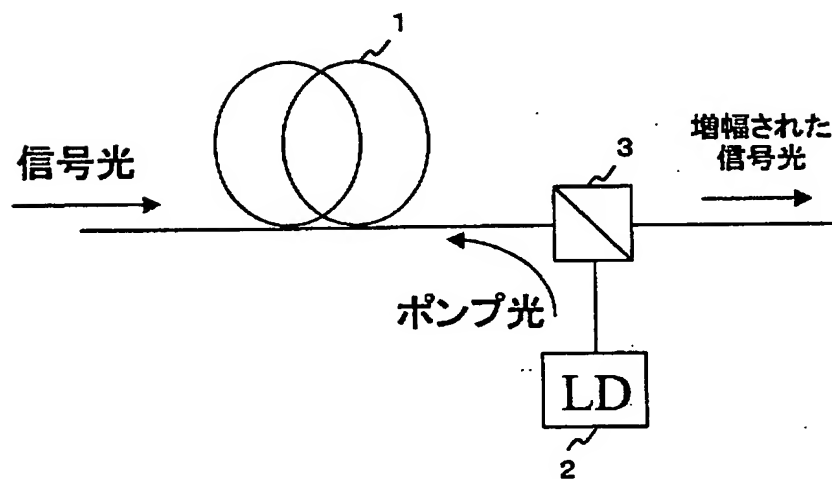
【図13】

図12に示すラマン光増幅器が使用される
伝送システムの構成を示す図



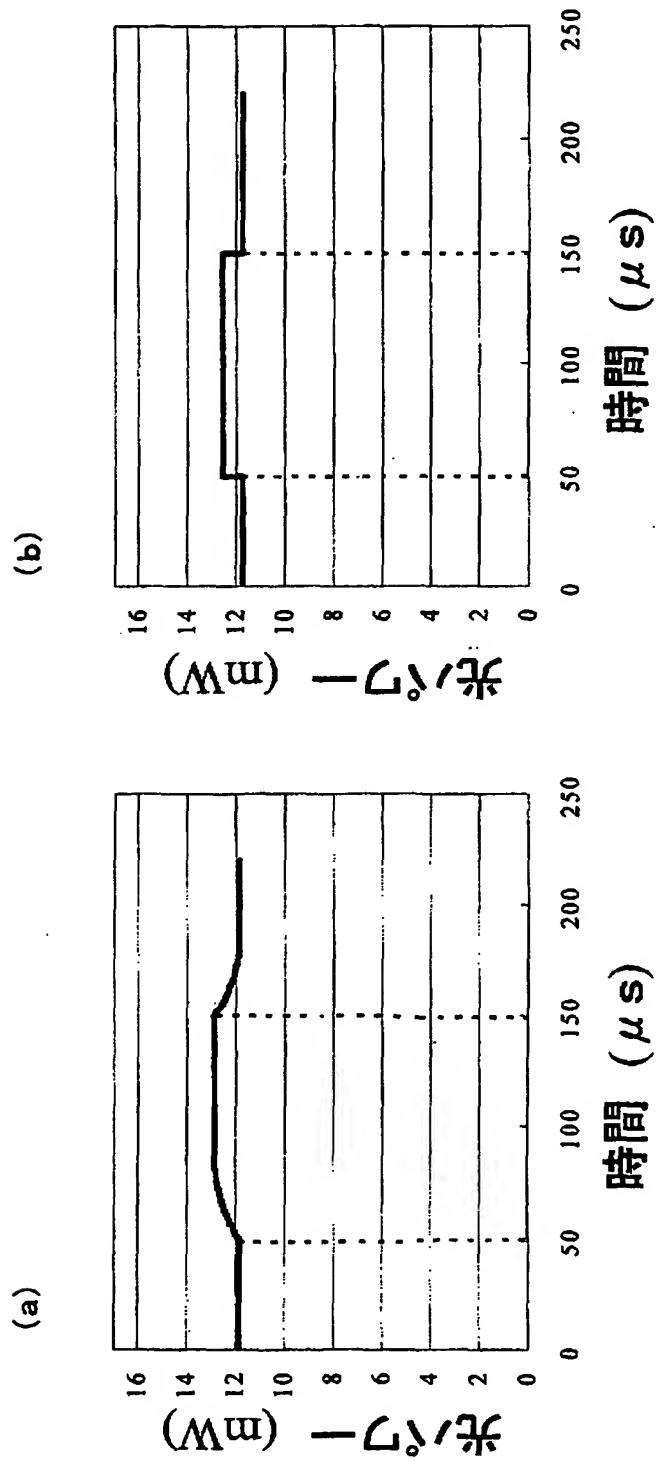
【図 1 4】

一般的なラマン光増幅器の基本構成図



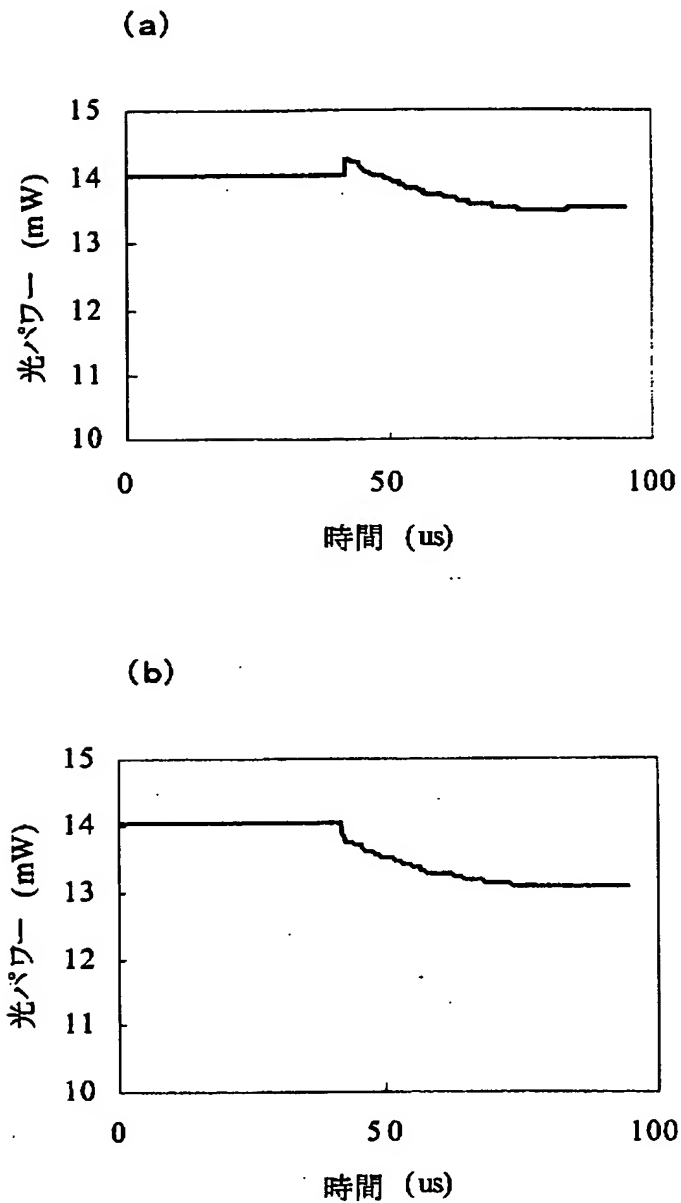
【図 1 5】

ラマン光増幅器の出力応答波形を示す図



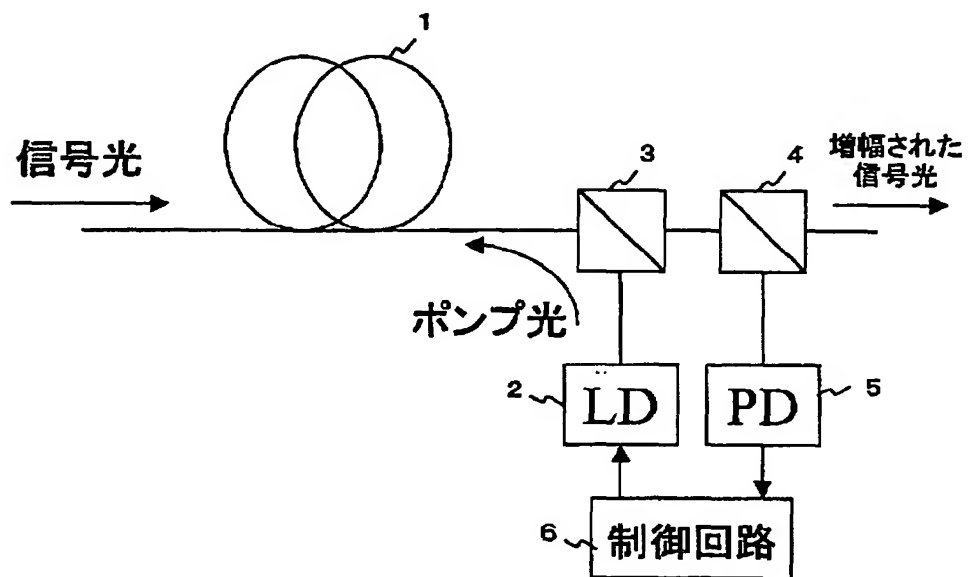
【図 1 6】

信号光間ラマン増幅が生じているときの
ラマン光増幅器の出力応答波形を示す図



【図17】

励起光を動的に制御する機能を備えたラマン光増幅器の構成図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長多重光を増幅するラマン光増幅器において、波長多重光の波長数
が変化したときの出力レベルの変動を抑える。

【解決手段】 互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長多重光は、ラマン増
幅用ファイバ 1 に入力される。ラマン増幅用ファイバ 1 には、励起光源 2 により
生成された励起光が波長多重光の伝搬方向と逆方向に伝搬されるように供給され
る。補助光源 1 3 は補助光を生成する。補助光制御回路 1 4 は、波長多重光の入
力パワーの変化に基づいて補助光の光パワーを所定の応答時間で変化させる。補
助光は、波長多重光の伝搬方向と同じ方向に伝搬されるようにラマン増幅用ファ
イバ 1 に供給される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社